Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 1, Spring. 2019, p. 111-121

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۲۱-۱۱۱

ارزیابی تحمل به تنش خشکی دوره رشد زایشی در برخی از ژنوتیپ‌های گندم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش خشکی

وحید بحرینی ویجویه[1]، محمد رضا داداشی[2*]، سید محمود ناظری[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۲

چکیده

این بررسی به منظور تعیین حدود حساسیت و تحمل به تنش کمبود رطوبتی ژنوتیپ‌های گندم به شرایط آبیاری کامل و کمبود رطوبتی در دوره زایشی اجرا شد. تعداد هشت ژنوتیپ حاصل از برنامه به‌نژادی اقلیم سرد کشور که دارای تیپ رشد زمستانه در مقایسه با ارقام اروم، میهن و زارع به‌عنوان شاهد بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۳ در دو شرایط آبیاری کامل و کمبود رطوبتی در دوره زایشی در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق مشهد مورد مقایسه قرار گرفتند. در این تحقیق از ۱۴ شاخص ارزیابی تنش به‌ترتیب شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل به تنش (STI)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک (HM)، شاخص تحمل به تنش تعدیل‌یافته (MSTI)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص خشکی (DI)، شاخص تحمل غیرزیستی، (ATI) شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)، شاخص محصول در تنش و بدون تنش (SNPI) و درصد کاهش عملکرد (RE) استفاده گردید. در مجموع شاخص‌ها پنج شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، تحمل به تنش (STI)، میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هارمونیک (HM) و شاخص تحمل به تنش تعدیل‌یافته (MSTI) با احتمال ۹۹ درصد بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش نشان دادند و به‌عنوان برترین شاخص‌های متحمل به خشکی در این بررسی مشخص شدند. ژنوتیپ هشت که بالاترین مقدار را در این پنج شاخص داشت به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ در شرایط تنش شناسایی گردید. ارقام شاهد به لحاظ عملکرد و تحمل به تنش خشکی در قیاس با ژنوتیپ هشت جایگاه مناسبی نداشتند. در شرایط تنش خشکی ژنوتیپ هشت بیشترین عملکرد را با ۵۱۷۶ کیلوگرم در هکتار به خود اختصاص داده و در رتبه میانگین شاخص‌های این تحقیق رتبه اول را داشت. ژنوتیپ ۹ نیز از لحاظ عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی با ۵۰۷۹ کیلوگرم در هکتار و رتبه دوم در میانگین شاخص‌های این تحقیق به‌عنوان بهترین ژنوتیپ متحمل به خشکی بعد از ژنوتیپ ۸ قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری، پایداری، شاخص عملکرد، کمبود رطوبت

مقدمه

در میان غلات گندم مهمترین گیاه زراعی است و نقش حیاتی در اقتصاد کشاورزی کشورها دارد (Tadesse *et al*., 2016).

با توجه به پیش‌بینی جمعیت ۹ میلیارد نفری در سال ۲۰۵۰، تقاضا برای گندم ۶۰ درصد افزایش خواهد یافت. (Lucas *et al*., 2014). با عنایت به محدودیت ذخایر آب موجود در سراسر جهان باید سیاست‌های کشاورزی به منظور افزایش تولید گندم، تدوین برنامه‌های استراتژیک جهانی برای تحقیقات گندم، تشویق سرمایه‌گذاری کارآمد در این خصوص و توسعه ژنوتیپ‌های متحمل در برابر شرایط تنش خشکی صورت گیرد (Gautam *et al*., 2015).

تغییرات آب و هوایی منجر به خشک‌سالی در بعضی کشورها گردیده که بایستی با توسعه ارقام متحمل به خشکی، بهره‌وری گندم را افزایش داد (Dixit *et al*., 2018). تنش خشکی قبل از گرده‌افشانی در گندم بر روی باروری گیاه و بعد از آن در دوره پر شدن دانه تاثیرات منفی دارد (Al-Ajlouni *et al*., 2016).

در تحقیقی بر روی ۱۲ ژنوتیپ جو در شرایط تنش خشکی در انتهای فصل رشد، همبستگی معنی‌دار بین عملکرد دانه و شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) وجود داشت و شاخص‌های

۱- دانشجوی دکترای زراعت، گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران
۲- استادیار، گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران
۳- استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mdadashi730@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v17i1.69690

مذکور به‌عنوان بهترین شاخص برای غربال‌گری ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی انتخاب شدند (Khokhar *et al*., 2012).

تحمل به خشکی صفت کمی نیست و روش اندازه‌گیری مستقیمی برای آن وجود ندارد و این امر باعث مشکل شدن شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی می‌شود (Takeda and Matsuka, 2008). در مناطق خشک مرحله پر شدن دانه اغلب با دوره‌ای منطبق می‌شود که درجه حرارت محیط افزایش و ذخیره رطوبتی خاک کاهش می‌یابد و درنتیجه این تنش چروکیدگی دانه، کاهش وزن و در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود. بنابراین در این شرایط ارقامی که توانایی تولید محصول بیشتری داشته باشند مورد توجه قرار می‌گیرند. برای غربال ارقام متحمل به خشکی بایستی از شاخص‌های متحمل به تنش استفاده کرد (Moayedi *et al*., 2010).

در شرایط تنش رطوبتی در طی پر شدن دانه، سرعت پرشدن دانه، یک صفت فیزیولوژیک موثر در افزایش کارایی توزیع ماده خشک به سمت دانه می‌باشد (Naderi *et al*., 2013).

برای دقت بیشتر در گزینش‌ها بهتر است از چندین شاخص استفاده شود (Zebarjadi *et al*., 2013). در بررسی انجام شده در داراب فارس به‌دلیل این‌که شاخص‌های MP ,GMP ,STI بیشترین همبستگی معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل و تنش خشکی داشتند به‌عنوان شاخص‌های مناسب جهت انتخاب ژنوتیپ‌های گندم متحمل به خشکی معرفی و با عنایت به این شاخص‌ها متحمل‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی معرفی شدند (Dastfal *et al*., 2011).

Fischer and Maurer (1978) شاخص حساسیت به تنش Stress Susceptibility Index (SSI) ژنوتیپ‌ها را پیشنهاد دادند. این محققین نشان دادند که ژنوتیپ‌های با SSI کمتر از واحد به خشکی متحمل‌ترند و SSI را معیاری از نسبت تغییرات عملکرد دانه یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط آبیاری کامل دانستند و این شاخص را برای ارزیابی میزان حساسیت و تحمل معرفی نمودند. Fernandez (1992) شاخص‌های تحمل به تنش (STI) Stress Tolerance Index، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) Geometric Mean Productivity و میانگین هارمونیک Harmonic Mean (HARM) را ارائه داد و STI را به‌عنوان معیاری برای گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی پیشنهاد کرد که مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده تحمل زیاد به تنش و عملکرد بالقوه بالا در ژنوتیپ مورد نظر است. شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) در مقایسه با شاخص (MP) Mean Productivity در تفکیک ژنوتیپ‌ها از قدرت بالاتری برخوردار است. مقادیر بالای عددی GMP، MP و HM بیانگر تحمل بیشتر به تنش می‌باشند. طبق نظر فرناندز شاخص‌هایی که در دو محیط تنش و بدون تنش همبستگی معنی‌دار با عملکرد دانه دارند، شاخص‌های برتری هستند چراکه قادر به تفکیک و شناسایی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشند. بر این اساس با استفاده از تحلیل همبستگی بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی، ژنوتیپ‌های متحمل را غربال و مناسب‌ترین ژنوتیپ را انتخاب کرد. Fernandez (1992) در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط تنش و بدون تنش چهار نوع واکنش برای ژنوتیپ‌ها در نظر گرفت عملکرد بالاتر از میانگین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش (گروه A)، عملکرد بالاتر از میانگین در شرایط بدون تنش (گروه B)، عملکرد بالاتر از میانگین در شرایط تنش (گروه C) و عملکرد پایین‌تر از میانگین در هر دو شرایط تنش و بدون تنش (گروه D). شاخص میانگین تولید MP و شاخص تحمل Tolerance (TOL) برای ارزیابی عکس‌العمل گیاهان زراعی ارائه شد که ژنوتیپ‌هایی با MP بالا و TOL کم از پایداری تولید بالاتری در شرایط تنش برخوردارند، در شاخص‌های معرفی شده مقدار TOL براساس تفاوت میانگین عملکرد در شرایط آبیاری کامل و تنش محاسبه می‌شود (Rosielle and Hamblin, 1981). در شاخص پایداری عملکرد Yield Stability Index (YSI) انتظار می‌رود ژنوتیپ‌هایی با مقدار عددی بالاتر از این شاخص، عملکرد بالایی در شرایط تنش داشته باشند (Bouslama and Schpaugh, 1984). در واقع ژنوتیپی که بر اساس YSI به‌عنوان ژنوتیپ متحمل انتخاب می‌شود ثبات عملکرد بالاتری داشته و حداقل کاهش عملکرد را نشان می‌دهد (Yarnia *et al*., 2011). شاخص عملکرد Yield Index (YI) ارقام را فقط براساس عملکرد در شرایط تنش رتبه‌بندی می‌کند و مقدار عددی بالا بیانگر برتری در این شاخص است (Gavazzi *et al*., 1997). بنابراین ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را تشخیص نمی‌دهد. شاخص جدید خشکی Drought Index (DI) معمولاً برای شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش بوده و مقدار عددی بالا بیانگر برتری در این شاخص می‌باشد (LAN, 1998). شاخص‌های DI و STI نه تنها توان ژنوتیپ‌ها برای تولید عملکرد بالا در شرایط تنش را در نظر می‌گیرند بلکه عملکرد مناسب در شرایط آبیاری کامل را نیز ملاک قرار می‌دهند. شاخص STI به شاخص تحمل به تنش تغییریافته Modified Stress (MSTI) Tolerance Index اصلاح شد و برای ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی معرفی و بر این اساس در شاخص KiSTI، Ki ضریب تصحیح STI در شرایط رطوبتی می باشد. بنابراین K1STI و K2STI به‌ترتیب شاخص‌های انتخاب مطلوب در شرایط بدون تنش و تنش بوده و مقدار عددی بالا بیانگر برتری می باشد (Farshadfar and Sutka, 2002). Fernandez (1992) کارایی شاخص تحمل به تنش تغییریافته MSTIK را در غربال ژنوتیپ‌های گندم از نظر تحمل

به تنش تأیید نمود.

شاخص‌های تحمل غیر زیستی (Abiotic Tolerance Index (ATI، شاخص درصد حساسیت به تنش (Stress Susceptibility Percentage Index (SSPI و شاخص محصول در تنش و بدون تنش Stress non-Stress Production Index (SNPI) برای تفکیک ژنوتیپ‌های نسبتاً متحمل و غیر متحمل به تنش خشکی معرفی شدند (Moosavi *et al*., 2008). در دو شاخص ATI و SSPI کمترین و در SNPI بیشترین مقدار عددی، برتری این شاخص‌ها را معرفی می‌نماید. در شاخص درصد کاهش عملکرد Reduction Percentage (RE%)، عنوان شد درصد کاهش عملکرد در شرایط تنش عامل موثری برای تحمل به تنش می‌باشد و مقدار عددی کمتر این شاخص برتری محسوب می‌شود (Choukan *et al*., 2006). گندم آبی در مناطق نیمه‌خشک و خشک عمدتاً با خشکی آخر فصل روبه‌رو است، موفقیت برای دستیابی به ژنوتیپ‌های سازگار به شرایط تنش مستلزم مقایسه ژنتیکی و معرفی ژنوتیپ‌های برتر می‌باشد، با دستیابی به این ژنوتیپ‌ها امکان مطالعه جامع برای شناخت صفات فیزیولوژیکی مرتبط با فرآیندهای سازگاری میسر خواهد شد. هدف از اجرای این تحقیق شناسایی و تعیین برخی لاین‌های متحمل به تنش خشکی و پر محصول از نظر عملکرد دانه برای معرفی در شرایط تنش خشکی در دوره زایشی و تعیین شاخص‌هایی با کارایی مطلوب برای ارزیابی عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها به شرایط تنش بود.

مواد و روش‌ها

در این بررسی تعداد هشت ژنوتیپ گندم حاصل از برنامه‌های به‌نژادی ایستگاه‌های سرد کشور که دارای تیپ رشد زمستانه می‌باشند به همراه ارقام میهن، زارع و اروم به‌عنوان شاهد بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو شرایط آبیاری کامل و تنش محدودیت رطوبتی در دوره رشد زایشی مورد مقایسه قرار گرفتند. در این تحقیق برای محاسبات آماری از نرم‌افزار SAS و تعیین ضرایب همبستگی از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید.

این آزمایش طی دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۳ در ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا اجرا شد. حداکثر و حداقل درجه حرارت مطلق به‌ترتیب ۴۳/۴ و ۲۷/۸- درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای فصل گرم ۲۴/۵ و میانگین دمای فصل سرد ۴- درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. بارندگی سالیانه مشهد ۲۵۶ میلی‌متر و آب و هوای آن بر اساس تقسیم‌بندی آمبرژه خشک و سرد است.

عملیات تهیه زمین شامل شخم کلش بعد از برداشت محصول قبلی، یک نوبت شخم بهاره، یک نوبت دیسک، دو بار لولر عمود بر هم، کودپاشی و ایجاد فارو بود. کود مصرفی بر اساس آزمون خاک با فرمول (۵۰-۹۰-۱۲۰) بود که کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم، کود فسفره از منبع فسفات آمونیوم کود نیتروژنی از منبع اوره در دو نوبت پایه و سرک به مصرف رسید. آبیاری به‌صورت نشتی انجام شد. برای شرایط آبیاری کامل یک نوبت آبیاری پاییزه و ۳ نوبت آبیاری بهاره انجام گردید ولی برای ایجاد شرایط تنش در مورد ژنوتیپ‌های تحت تنش محدودیت رطوبتی، با قطع آبیاری پس از ظهور بساک (اواسط اردیبهشت) انجام شد و لازم به توضیح است تا مرحله ظهور بساک در هر دو شرایط آبیاری به‌طور یکسان انجام گرفت. هر ژنوتیپ در یک کرت با ابعاد ۷/۲=۱/۲×۶ متر مربع کشت شد که با حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت، مساحت برداشت ۶ متر مربع بود. بذور آزمایشی قبل از کاشت به منظور جلوگیری از سیاهک پنهان با قارچ‌کش کربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضدعفونی شدند. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ مخلوطی از علف‌کش‌های گرانستار و پوماسوپر به‌ترتیب ۲۰ گرم و یک لیتر در هکتار در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه رفتن استفاده شد. میزان بذر مصرفی بر اساس ۴۵۰ بذر در هر متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه برای هر رقم تعیین گردید.

افزون بر میانگین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش، شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش محدودیت رطوبتی اعم از شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل به تنش محدودیت رطوبتی (STI)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص بهره‌وری متوسط (MP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص میانگین هارمونیک (HARM)، شاخص مقاومت به خشکی (DI)، شاخص تحمل به تنش تعدیل‌یافته (MSTI)، درصد کاهش عملکرد (RE)، شاخص پایداری عملکرد (YSI)، شاخص عملکرد (YI)، شاخص تحمل غیر زیستی (ATI)، شاخص درصد حساسیت به تنش (SSPI)، شاخص محصول در شرایط تنش و بدون تنش (SNPI) به منظور ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی در دوره زایشی، ارزیابی شد.

شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش خشکی در معادله‌های ۱ الی ۱۴ نشان داده شده است.

جدول ۱- نام/ تلاقی ژنوتیپ‌های گندم مورد بررسی (شجره)
Table 1-Pedigree genotypes of wheat

ردیف	Plot No/تیمار	Pedigree/شجره
1	زارع	BOL1.11//F35.70/MO73/4/YMH/TO/3/LIRA CIT92/ M 0- E-OYC-7YC-OYC-1YC-OYC-3YC-OYC
2	میهن	/90-ZHONG87 BK
3	اروم	ER 732/ N ALVAND/
4	C-93-4	TILA/SHARK/F4105W2.1 NWAA15/A
5	C-93-5	ERYT1554.90/MV1
6	C-93-6	SPN/MCD/3/NZR/4 LD"s'/..
7	C-93-7	BOW/CROW/3RSH//3B/3/91 U
8	C-93-8	JI4//SHARK/F4105W2.1 R8/
9	C-93-9	BLUEGIL-2/ UCUR /SI E NA
10	C-93-10	AJIVI A
11	C-93-11	K-1 G HA 196/

$$D= 1-(\bar{Y}s /Y\bar{p})$$

$$SSI =[1 – (Ys/YP)]/ D \quad (۱)$$

$$STI = (Yp \times Ys) / (\bar{Y}P)^2 \quad (۲)$$

$$TOL = Yp – Ys \quad (۳)$$

$$GMP=\sqrt{Yp\times Ys} \quad (۴)$$

$$MP=(YP+YS)/2 \quad (۵)$$

$$HARM=2(Yp)(Ys)/Yp+Ys \quad (۶)$$

$$MSTI=kiSTI \quad (۷)$$

$$K1=Yp^2/ \bar{Y}P^2$$

$$K2=Ys^2/ \bar{Y}S^2$$

$$RE\%=[(Yp-Ys)/Yp]\times 100 \quad (۸)$$

$$YI=Ys/ \bar{Y}s \quad (۹)$$

$$YSI=Ys/Yp \quad (۱۰)$$

$$ATI=[(Yp-Ys)/(\bar{Y} p/ \bar{Y} s)][\sqrt{Yp\times Ys}] \quad (۱۱)$$

$$SSPI=[(Yp-Ys)/2(\bar{Y} p)]\times 100 \quad (۱۲)$$

$$SNPI=[\sqrt[3]{(Yp+Ys)(Yp-Ys)}] [\sqrt[3]{(Yp\times Ys\times Ys)}] \quad (۱۳)$$

$$DI=Ys \times (Ys/Yp)/ \bar{Y}s \quad (۱۴)$$

که در معادلات بالا Yp عملکرد ژنوتیپ در شرایط بدون تنش، Ysعملکرد ژنوتیپ در شرایط تنش، $Y\bar{p}$ میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش، $Y\bar{s}$ میانگین عملکرد کل ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش، D شدت تنش و K1 و K2 به‌ترتیب ضریب تصحیح STI در شرایط بدون تنش و تنش می‌باشد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر آبیاری و اثر متقابل سال در ژنوتیپ در سطح احتمال ۹۹ درصد و اثرات سال و ژنوتیپ هرکدام در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار بودند که نشان از تاثیرات تنش خشکی در دوره رشد زایشی، تنوع ژنتیکی و تغییرات آب و هوایی در عملکرد دانه می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب دوساله عملکرد دانه

Table 2- Analysis of variance composite at two years on grain yield

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares
Year/سال	1	24.946*
Rep/(سال)تکرار	4	0.444 ns
Irrigation/آبیاری	1	158.39 **
Irrigation×Year /سال×آبیاری	1	2.172 ns
Error1/1 خطای	4	0.415
Genotype/ژنوتیپ	10	0.469 *
Year×Genotype/سال×ژنوتیپ	10	0.740 **
آبیاری ×ژنوتیپ/ Irrigation×Genotype	10	0.134 ns
سال×آبیاری×ژنوتیپ Irrigation×Genotype×Year	10	0.209 ns
Error 2/2 خطای	80	0.201
		CV=7.5%

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد

ns, * and **: no significant, significant at level 5 and 1 percent respectively

عملکرد دانه در سال دوم نسبت به سال اول ۱۳/۶ درصد کاهش نشان داد و اختلاف معنی‌دار بین عملکرد دانه در دو سال زراعی وجود دارد که ناشی از تاثیر تغییرات آب و هوایی بود (جدول ۳).

تنش اعمال شده در این تحقیق باعث شد میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش خشکی دوره رشد زایشی نسبت به شرایط آبیاری کامل ۳۱ درصد کاهش نشان دهد که حاکی از تاثیر تنش خشکی در زمان پر شدن دانه است (جدول ۴). پژوهش انجام شده در کرج نشان داد تنش خشکی در دوره پرشدن دانه گندم، عملکرد دانه رقم‌های گندم نان مرودشت و زاگرس را به‌ترتیب ۶۱/۹ و ۳۰/۱ درصد کاهش داد (Saeidi *et al.*, 2010).

تحقیقات نشان داد که در شرایط تنش خشکی آخر فصل رشد کاهش شدیدی در فتوسنتز گندم پس از مرحله گرده‌افشانی رخ می‌دهد که باعث محدود شدن اختصاص مواد حاصل از فتوسنتز جاری گیاه به دانه می‌شود، بدین ترتیب کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی دوره رشد زایشی را می‌توان به کاهش فتوسنتز جاری گیاه نسبت داد (Ehdaie *et al.*, 2008).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر سال بر عملکرد دانه براساس آزمون دانکن

Table 3-Mean comparison effect of year on grain yield on base Duncan test

سال Year	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})
2014-2015	6407 a
2015-2016	5537 b

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05)

جدول مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها بر عملکرد دانه نشان داد ژنوتیپ‌ها با هم اختلاف معنی‌دار دارند که بیانگر تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها بوده و همین باعث شد در شرایط تنش خشکی در دوره زایشی واکنش متفاوت داشته باشند. ژنوتیپ ۸ به غیر از ژنوتیپ‌های ۹، ۷ و ۶ با سایر ژنوتیپ‌ها ازجمله ارقام شاهد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد (جدول ۵).

به لحاظ عملکرد ارقام شاهد در شرایط تنش، بدون تنش و میانگین رتبه تحمل به تنش خشکی شاخص‌ها نسبت به ژنوتیپ ۸ از جایگاه قابل قبولی برخوردار نبودند (جدول ۶).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه براساس آزمون دانکن

Table 4- Mean comparison effect of drought stress on grain yield on base Duncan test

آبیاری Irrigation	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})
آبیاری کامل/Normal	7068 a
آبیاری در شرایط تنش/Stress	4877 b

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05)

جدول ٥- مقایسه میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها براساس آزمون دانکن

Table 6 - Mean Comparison genotypes on grain yield on base Duncan test

ژنوتیپ Genotype	عملکرد دانه Grain yield (kg ha^{-1})
1	5816 de
2	5848 de
3	6053 bc
4	5924 cd
5	5724 e
6	6168 ab
7	6100 abc
8	6288 a
9	6159 ab
10	5943 cd
11	5671 e

اعداد با حروف مشترک در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار (P<0.05) نمی‌باشند.

Numbers followed by the same letter are not significantly differentns (P<0.05)

در این تحقیق شاخص‌های TOL، YSI، SSI، YI، DI، RE، ATI، SSPI و SNPI در هر دو شرایط بدون تنش و تنش با عملکرد دانه همبستگی معنی‌دار نشان ندادند (جدول ۸). لازمه انتخاب شاخص برتر این است که شاخص‌ها بتوانند در هر دو شرایط بدون تنش و تنش، همبستگی معنی‌دار با عملکرد دانه داشته باشند، لذا نمی‌توان با شاخص‌های مذکور ژنوتیپ متحمل به خشکی با عملکرد بالا را انتخاب کرد.

در این تحقیق همبستگی معنی‌دار شاخص‌های MSTI, GMP, MP, STI, HM با عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش وجود دارد که انتخاب ژنوتیپ‌ها براساس این شاخص‌ها می‌تواند منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی شود که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش عملکرد بالا دارند (جدول ۸). ژنوتیپ ۸ در این شاخص‌ها برتر بود و از نظر عملکرد در شرایط تنش رتبه اول با ۵۱۷۶ کیلوگرم در هکتار و در شرایط بدون تنش با ۷۴۰۰ کیلوگرم در هکتار با اختلاف اندکی (۳۹ کیلو گرم در هکتار) از ژنوتیپ ۶، رتبه دوم را داشت. با توجه به این‌که ژنوتیپ ۸ توانست رتبه برتر میانگین شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش را به‌خود اختصاص دهد به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ شناخته شد (جدول ۶). در تحقیق دیگر مشخص شد GMP, MP, و STI همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در دو شرایط تنش خشکی و آبیاری معمول داشتند و بر همین اساس مناسب‌ترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشک‌سالی معرفی شدند (Saeidi *et al*., 2016).

در آزمایشی شاخص‌های MP, STI, HM, MSTIK1, GMP به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی شدند (Afiuni *et al* ., 2009). در آزمایشی برروی ۳۰ ژنوتیپ گندم نان شاخص‌های DI, YI, STI, MP GMP MSTI, به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی معرفی شدند (Farshadfar *et al* ., 2013). در دو تحقیق جداگانه یکی با ژنوتیپ‌های گندم نان و دیگری با ارقام گندم دوروم گزارش شد SSI قادر به تشخیص ارقام دارای عملکرد دانه نمی‌باشد (Sanjari *et al*., 2010; Zebarjadi *et al*., 2013).

جدول ٦- میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنش خشکی دوره زایشی (YS) در دو سال آزمایش و مقادیر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش

Table 7-Mean grain yield (kg ha^{-1}) at non-stress (YP) and drought stress at reproductive phase (YS) on two years and amounts of tolerance and susceptibility to stress

ژنوتیپ	Yp	رتبه	Ys	رتبه	SSI	رتبه	STI	رتبه	GMP	رتبه	MP	رتبه	TOL	رتبه
1	6839	10	4793	8	0.964	4	0.661	9	5725	9	5816	9	2046	3
2	6896	7	4801	7	0.977	6	0.662	8	5753	8	5848	8	2095	4
3	7240	3	4865	6	1.057	9	0.705	5	5934	5	6052	5	2375	9
4	6858	9	4990	4	0.877	1	0.685	6	5849	6	5924	7	1868	1
5	6665	11	4783	9	0.909	2	0.683	10	5646	10	5724	10	1882	2
6	7439	1	4896	5	1.099	10	0.729	3	6035	3	6167	2	2543	11
7	7201	5	5000	3	1.983	7	0.72	4	6000	4	6100	4	2201	6
8	7400	2	5176	1	0.967	5	0.766	1	6188	1	6288	1	2224	7
9	7239	4	5079	2	0.961	3	0.736	2	6063	2	6159	3	2160	5
10	7104	6	4782	10	1.051	8	0.68	7	5828	7	5943	9	2322	8
11	6862	8	4479	11	1.118	11	0.615	11	5543	11	5670	11	2383	10

اعداد کوچکتر در رتبه‌بندی‌ها و میانگین رتبه شاخص‌ها نشان‌دهنده برتری ژنوتیپ است.

Numbers of lower in ranking , mean of rank indices indicate advantage genotype

ادامه جدول ٦- میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنش خشکی دوره زایشی (YS) در دوسال آزمایش و مقادیر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش

Continue Table 6- Mean grain yield (kg ha^{-1}) at non-stress (YP) and drought stress at reproductive phase (YS) on two years and amounts of tolerance and susceptibility to stress

ژنوتیپ	DI	رتبه	MSTIK2	رتبه	MSTIK1	رتبه	HM	رتبه	YSI	رتبه	YI	رتبه
1	0.688	6	0.63	9	0.619	9	5609	9	0.7	4	0.982	8
2	0.685	7	0.641	8	0.63	8	5660	8	0.696	6	0.984	7
3	0.67	8	0.701	6	0.739	5	5819	5	0.671	9	0.997	6
4	0.744	1	0.717	5	0.645	7	5776	6	0.727	1	1.023	4
5	0.703	5	0.613	10	0.576	11	5569	10	0.717	2	0.981	9
6	0.66	9	0.734	4	0.807	2	5905	3	0.658	10	1.004	5
7	0.712	4	0.757	3	0.747	4	5901	4	0.694	7	1.025	3
8	0.742	2	0.863	1	0.839	1	6091	1	0.699	5	1.061	1
9	0.73	3	0.798	2	0.772	3	5969	2	0.701	3	1.041	2
10	0.66	9	0.654	7	0.687	6	5716	7	0.673	8	0.98	10
11	0.59	11	0.518	11	0.579	10	5420	11	0.652	11	0.918	11

اعداد کوچکتر در رتبه‌بندی‌ها و میانگین رتبه شاخص‌ها نشان‌دهنده برتری ژنوتیپ است.

Numbers of lower in ranking, mean of rank indices indicate advantage genotype

ادامه جدول ٦- میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری کامل (Yp) و تنش خشکی دوره زایشی (YS) در دو سال آزمایش و مقادیر شاخص‌های حساسیت و تحمل به تنش

Continue Table 6-Mean grain yield (kg ha^{-1}) at non-stress (YP) and drought stress at reproductive phase (YS) on two years and amounts of tolerance and susceptibility to stress

ژنوتیپ	SNPI	رتبه	SSPI	رتبه	ATI	رتبه	RE	رتبه	میانگین رتبه شاخص‌ها
1	9.604	7	14.47	3	8.15	3	29.9	4	6.7
2	9.609	6	14.82	4	8.31	4	30.4	6	6.5
3	9.55	8	16.8	9	9.72	10	32.8	9	6.8
4	10.26	2	13.21	1	7.54	2	27.2	1	3.7
5	9.65	5	13.31	2	7.32	1	28.2	2	6.5
6	9.51	9	17.99	11	10.591	11	34.1	11	6.4
7	9.93	4	15.57	6	9.18	6	30.5	7	4.7
8	10.37	1	15.73	7	9.943	9	30	5	3
9	10.17	3	15.28	5	9.034	5	29.8	3	3.05
10	9.36	10	16.42	8	9.33	8	32.6	8	7.8
11	8.67	11	16.86	10	9.11	7	34	10	10.3

اعداد کوچکتر در رتبه‌بندی‌ها و میانگین رتبه شاخص‌ها نشان‌دهنده برتری ژنوتیپ است.

Numbers of lower in ranking, mean of rank indices indicate advantage genotype

جدول ۷- برخی پارامترهای هواشناسی در طی دو سال آزمایش در منطقه مشهد

Table 7- Some meteorological parameters during two years of experiment in Mashhad

ماه Month	رطوبت نسبی (%) Relative humidity		بارندگی (mm) Precipitation		تبخیر (mm) Evaporation		میانگین درجه حرارت (C°) Mean temperature	
	2014 2015	2015 2016	2014 2015	2015 2016	2014 2015	2015 2016	2014 2015	2015 2016
مهر October	47	45	16.7	13.8	156.5	148	18.1	18.6
آبان November	65	61	30.6	17.6	39	82.2	8.7	11.2
آذر December	73	64	31.8	16	_	_	5.5	6
دی January	67	56	20.9	12.7	_	_	6.5	7.3
بهمن February	70	62	38.7	13.7	_	_	7.5	5.2
اسفند March	73	65	41.6	58.4	_	_	5.7	12.1
فروردین April	58	66	21.6	94.6	181.4	65.4	14.9	13.6
اردیبهشت May	43	55	23.6	41.3	237.6	179	21.4	21.2
خرداد June	23	38	0.3	6.6	364.1	300.4	26.9	25.6
تیر July	22	28	0	0	444.2	358.1	29.7	28.1
میانگین	54	54	225	274	142.2	113	14.4	14.8

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد به‌دلیل تنش خشکی آخر فصل، عملکرد دانه کاهش یافت. شاخص‌های STI، HM، MSTI، GMP و MP در هردو شرایط بدون تنش و تنش با عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد نشان دادند و از طرفی ژنوتیپ ۸ در تمام شاخص‌های مذکور رتبه برتر را به‌خود اختصاص داد و با توجه به عملکرد دانه مناسب این ژنوتیپ در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، می‌توان آن را به‌عنوان ژنوتیپ متحمل در شرایط تنش خشکی دوره زایشی مطرح کرد تا در صورت تأیید سایر صفات زراعی به‌عنوان یک لاین امیدبخش متحمل به تنش خشکی دوره زایشی در نظر گرفته شود.

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه با شاخص‌های ارزیابی تحمل و حساسیت به تنش

Table 8- Correlation coefficients between grain yield and tolerance evaluation and stress susceptibility indices

	YP	YS	Tol	MP	GMP	STI	SSI	YI	YSI	HM	MSTIK1	MSTIK2	DI	Re	ATI	SSPI	SNPI
YS	.586																
Tol	.697*	–.172															
MP	.924**	.852**	.37														
GMP	.884**	.897**	.281	.996**													
STI	.883**	.897**	.279	.995**	.999**												
SSI	.612*	.226	.944**	.289	.204	.202											
YI	.598	1**	–.169	.853**	.898**	.899**	–.224										
YSI	–.405	.502	–.973**	–.25	.69	.70	–.9	.5									
HM	.841**	.931**	.199	.983**	.996**	.994**	.122	.932**	.153								
MSTIK1	.969**	.763**	.504	.987**	.969**	.969**	.417	.765**	–.173	.944**							
MSTIK2	.750**	.973**	.50	.945**	.971**	.972**	–.33	.974**	.296	.916**	.886**						
DI	.135	.882**	–.616*	.504	.583	.583	.635*	.88**	.850**	.649*	.369	–.754**					
Re	.446	–.462	.952**	.71	–.23	–.24	.932**	.459	.997**	–.108	.217	–.256	–.825**				
ATI	.878**	.127	.955**	.628*	.552	.551	.889**	.130	.792**	.478	.736**	.342	–.355	.819**			
SSPI	697*	–.172	1**	.370	.281	.279	.944**	–.169	–.937**	.198	.503	.5	–.616*	.952**	.955**		
SNPI	.332	.549	–.82	.474	.497	.507	–.188	.549	.264	.508	.441	.55	.483	–.266	.805	–.083	

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱درصد

*,** significant at level 5 and 1 percent respectively

References

1. Afiuni, D., and Marjovvi, A. R. 2009. Assessment of different bread wheat cultivars responses to irrigation water salinity. Journal of Crop Cultivation Improvement 11 (2): 1-9. (in Persian).
2. Al-Ajlouni, Z. I.; Al-Abdallat, A.; Al-Ghzawi, A.; Ayad, J.; Abu Elenein, J.; Al Quraan, N.; and Baenziger, P. S. 2016. Impact of pre-anthesis water deficit on yield and yield components in barley (*Hordeum vulgare* L.) plants grown under controlled conditions. Agronomy Journal 6: 33-44.
3. Bouslama, M., and Schapaugh, W. T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science 24: 933-937.
4. Choukan, R., Taherkhani, T., Ghannadha, M. R., and Khodarahmi, M. 2006. Evaluation of drought tolerance in grain maize inbred lines using drought tolerance indices. The Journal of Agricultural Science 8: 79-89.
5. Dastfal, M., Barati, V., Emam, Y., Haghighatnia, H., and Ramazanpour, M. 2011. Evaluation of grain yield and its components in wheat genotypes under terminal drought stress conditions in Darab region. Seed and Plant Production Journal 27 (2):195-217. (in Persian).
6. Dixit, P.; Telleria, R.; Al Khatib, A. N.; and Allouzi, S. F. 2018. Decadal analysis of impact of future climate on wheat production in dry Mediterranean environment: A case of Jordan Science of the Total Environment 610: 219-233.
7. Ehdaie, B., Alloush, G. A., and Waines, J. G. 2008. Genotypic variation in linear rate of grain growth and contribution of stem reserves to grain yield in wheat. Field Crop Research 106: 34-43.
8. Farshadfar, E., and Sutka, J. 2002. Screening drought tolerance criteria in maize. Acta Agronomica Academiae Scientiarum Hungaricae, Budapest. 50: 411-419.
9. Farshadfar, E., Poursiahbidi, M. M., and Safavi, S. M. 2013. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/ tolerance indices. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research 2: 143-158.

10. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo C.G. (ed), Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress. Public Tainan Taiwan. 257-270.
11. Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain responses, Australian Journal of Agriculture Research 29: 897-912.
12. Gautam, A.; Sai Prasad, S. V.; Jajoo, A.; Ambati, D. 2015. Canopy temperature as a selection parameter for grain yield and its components in durum wheat under terminal heat stress in late sown conditions. Agricultural Research 4: 238-244.
13. Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campaline, R. G., Ricciardi, G. L., and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science 77: 523-531.
14. Khokhar, M. L., Teixeira da Silva, J. A., and Spiertz, H. 2012. Evaluation of barley genotypes for yielding ability and drought tolerance under irrigated and water-stressed conditions. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Research 12 (3): 287-292.
15. Lan, J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. Acta Agri. Bor-occid Sinic. 7: 85-87.
16. Lucas, H. Wheat Initiative: An International Vision for Wheat Improvement.2013. Available online: www.wheatinitiative.org. (accessed on 31 March 2014).
17. Moayedi, A. A., Boyce, A. N., and Barakbah, S. S. 2010. The performance of durum and bread wheat genotypes associated with yield and yield component under different water deficit conditions. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 4 (1): 106-113.
18. Moosavi, S. S., Yazdi Samadi, B., Naghavi, M. R., Zali, A. A., Dashti, H., and Pourshahbazi, A. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. Desert 12: 165-178.
19. Naderi, A., Akbari Moghaddam, H. and Mahmoodi, K. 2013. Evaluation of bread wheat genotypes for terminal drought stress tolerance in south-warm regions of Iran. Seed and Plant Improvement Journal 29 (3): 601- 616. (in Persian).
20. Rosielle, A. A., and Hamblin, J. 1981. Theoretical aspects of selections for yield in stress and non-stress environments. Crop Science 21: 943-946.
21. Saeidi, M., Abdoli, M., Shafiei-Abnavi, M., Mohammadi, M., and Eskandari-Ghaleh, Z. 2016. Evaluation of genetic diversity of bread and durum wheat genotypes based on agronomy traits and some morphological traits in non-stress and terminal drought stress conditions. Cereal Research 5 (4): 353-369.
22. Saeidi, M., Moradi, F., Ahmadi, A., Spehri, R., Najafian, G., and Shabani, A. 2010. The effects of terminal water stress on physiological characteristics and sink- source relations in two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences 12 (4): 392-408. (in Persian).
23. Sanjari Pireivatlou, A. G., Dehdar Masjedlou, B., and Aliyev, R. T. 2010. Evaluation of yield potential and stress adaptive trait in wheat genotypes under post anthesis drought stress conditions. African Journal of Agricultural Research 5 (20): 2829-2836.
24. Tadesse, W.; Solh, M.; Braun, H. J.; Oweis, T.; Baum, M. 2016 Approaches and Strategies for Sustainable Wheat Production: Tools and Guidelines; ICARDA: Beirut, Lebanon, ISBN 92-9127-490-9.
25. Takeda, S., and Matsuoka, M. 2008. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population change. Nature 9: 444-457.
26. Yarnia, M., Arabifard, N., Rahmizadeh Khoei, and Zandi, P. 2011.Evaluation of drought tolerance indices among some winter rapeseed cultivar. African Journal of Biotechnology 10: 10914-10922.
27. Zebarjadi, A. R., Tavakoli Shadpey, S., Etminan, A. R. and Mohammadi, R. 2013. Evaluation of drought stress tolerance in durum wheat genotypes using drought tolerance indices. Seed and Plant Improvement Journal 29 (1): 1-12. (in Persian).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 1, Spring. 2019, p. 111-121

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۲۱-۱۱۱

Assessment of Tolerance to Drought Stress at Reproductive Phase in Some Wheat Genotypes (*Triticum aestivum* L.) Using Drought Tolerance and Susceptibility Indices

V. Bahraini Vijuyeh[1], M. R. Dadashi[2*], S. M. Nazeri[3]

Received: 25-12-2017
Accepted: 03-11-2018

Introduction: Wheat is important plant in the economy of the world. Between wheat cultivars, bread wheat (*Triticum aestivum* L.) is the best cultivar for nutrition. Drought stress led to decrease production, therefore, it causes problems for nutrition and agriculture. Iran is located in dry belt of the earth and its annual rain average is 250 mm. In dry land, grain filling phase is faced with a warm season when the air temperature is high and soil water storage is reduced. For screen best drought tolerant genotypes must use from drought tolerance and susceptibility indices. The purpose of this research was to identify and determine drought tolerant and high yield lines for introduction in drought stress conditions during reproductive phase and to determine the indices with a desirable efficiency for evaluating reaction of genotypes to stress conditions.

Materials and Methods: An experiment based on randomized complete bock design with three replications was conducted Torogh Mashhad Agricultural Research Stations, Iran, during 2014-2016 growing seasons. In this research eight genotypes of winter wheat with three control cultivars of Mihan, Orum, zare were compared under two conditions of full irrigation and water stress during reproductive phase. Statistical analysis was performed by using SAS and SPSS software. After harvesting, yield and indices drought tolerance indices including SSI (Stress Susceptibility Index), STI (Stress Tolerance Index), GMP (Geometric Mean Productivity), HARM (Harmonic Index), MP (Mean Productivity), YSI (Yield Stability Index), YI (Yield Index), DI (Drought Index), MSTI (Modified Stress Tolerance Index), ATI (Abiotic Tolerance Index), SSPI (Stress Susceptibility Percentage Index), RE% (Reduction Percentage), SNPI (Stress non-Stress Production Index), TOL (Tolerance).

Results and Discussion: Results showed that the effect of year, genotype and irrigation and interaction effect between year and genotype were significant on all of studied traits. Drought stress decreased yield of genotypes about 32% and 30% in the first and second year, respectively. Other investigation showed that drought stress at the reproductive phase led to reduce current photosynthesis and high respiration. According to Fernandez, indices that have a significant correlation with grain yield in both stress and non-stress conditions are superior indices because they are able to distinguish high-yield genotypes in both conditions. In our research there was a significant and positive correlation between GMP, MSTI, HM, STI, MP with grain yield in both non-stress and stress conditions. In drought stress conditions genotype 8 and 9 ranked had the highest yield (5176 and 5079 kg ha^{-1}), and were selected as the most tolerant genotype.

Conclusions: This research showed that drought stress at the reproductive phase reduced grain yield. GMP, MSTI, HM, STI and MP showed significant and positive correlation with grain yield in both non-stress and stress conditions. Genotype 8 had the highest rank in all of the mentioned indices, it could be considered as tolerant genotype to the drought stress at the reproductive phase due to the proper grain yield in both stress and non-stress conditions.

Key words: Lake moisture, Productivity, Sustainability, Yield index

---

1- Department of Agriculture, Unit Gorgan, Islamic Azad University, Gorgan, Iran
2- Department of Agriculture, Unit Gorgan, Islamic Azad University, Gorgan, Iran
3- Seed and Plant Improvement Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: mdadashi730@yahoo.com)